



## Amélioration de l'estimation de la SER de cibles étendues par une approche champ proche

Erwan Gillion, Erwan Rochefort, Jacques Claverie, Christian Brousseau

### ► To cite this version:

Erwan Gillion, Erwan Rochefort, Jacques Claverie, Christian Brousseau. Amélioration de l'estimation de la SER de cibles étendues par une approche champ proche. 18èmes Journées Nationales Microondes, May 2013, Paris, France. pp.1. hal-00876441

**HAL Id: hal-00876441**

**<https://hal.science/hal-00876441>**

Submitted on 29 Oct 2013

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## Amélioration de l'estimation de la SER de cibles étendues par une approche champ proche

E. Gillion<sup>1,2</sup>, E. Rochefort<sup>2</sup>, J. Clavier<sup>1,3</sup>, C. Brousseau<sup>1</sup>

<sup>1</sup>IETR – Institut d'Electronique et de Télécommunications de Rennes, UMR CNRS 6164, Université de Rennes 1, Rennes, France

<sup>2</sup>CMN – Constructions Mécaniques de Normandie, Cherbourg, France

<sup>3</sup>CREC St-Cyr, LESTP, Guer, France

### Résumé

Cet article présente une nouvelle méthode d'estimation de la Surface Equivalente Radar (SER) d'objets de grandes dimensions en milieu réaliste et prenant en compte la problématique champ proche par l'utilisation de la fonction de Green dyadique. Les simulations ont été réalisées sur des cibles métalliques de grandes dimensions placées de 0 à 10 km du radar, pour des fréquences comprises entre 1 et 20 GHz.

### 1. Introduction

Une des applications courantes de la télédétection dans le domaine de la guerre électronique en milieu naval est la détection et l'identification de navires. Cela consiste à mesurer la SER (Surface Equivalente Radar) d'un navire, pour pouvoir l'identifier ensuite dans le contexte opérationnel. Par le passé, il était souvent nécessaire de construire le navire avant de pouvoir optimiser sa SER. Cette procédure étant très coûteuse, de nombreuses recherches ont été menées durant les dernières décennies afin d'estimer la SER d'un navire [1]. Aujourd'hui couramment utilisées, ces méthodes de prédiction SER ont ainsi fourni aux industriels dont les chantiers navals, les moyens d'être plus réactifs et respectueux du cahier des charges sur le plan de la furtivité radar de leurs navires.

Cependant, la pratique a montré que ces estimateurs commencent à diverger lorsqu'un objet de grandes dimensions est placé dans un milieu inhomogène, tel que l'environnement marin [2]. Cet article propose donc une nouvelle méthode d'estimation de la SER prenant en considération la nature volumique de la cible ainsi que les perturbations dues à l'environnement en champ proche.

Dans un premier temps, un rappel sur l'estimation de la SER ainsi que l'impact de l'environnement sur celle-ci seront effectués. Ensuite, les limitations de la méthode classique appliquée à une cible étendue en milieu naval seront présentées et une méthode plus adaptée sera proposée. Enfin, la dernière partie aura pour objectif de mettre en avant l'importance du champ proche et du milieu dans l'estimation de la SER de cibles étendues.

### 2. SER d'une cible ponctuelle au dessus de la mer

#### 2.a. Définition de la SER

En espace libre, la SER d'un objet quelconque est définie par la formule suivante [1] :

$$\sigma_0 = \lim_{R \rightarrow \infty} 4\pi R^2 \frac{|\mathbf{E}_s|^2}{|\mathbf{E}_i|^2} \quad (1)$$

où  $\mathbf{E}_i$  est le champ incident,  $\mathbf{E}_s$ , le champ rétrodiffusé, et  $R$ , la distance radar-cible.

Cette expression, valable uniquement en espace libre et à une distance tendant vers l'infini du radar, n'est pas adaptée à une grande majorité de cas traités en environnement maritime. La SER apparente  $\sigma_{app}$  est alors introduite [2] prenant en compte l'influence de l'environnement par l'intermédiaire du facteur de propagation en puissance  $F$  :

$$\sigma_{app} = \sigma_0 \cdot F^2 \quad (2)$$

où  $F$  est calculé par :

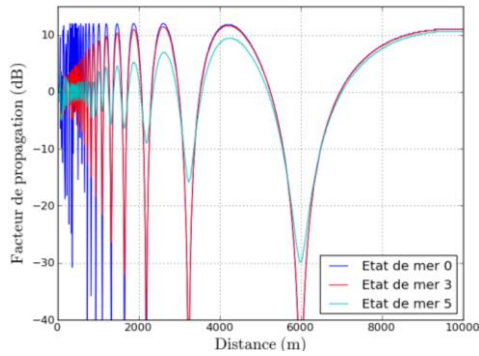
$$F = |\mathbf{E}_{tot}|^2 / |\mathbf{E}_0|^2 \quad (3)$$

avec  $\mathbf{E}_{tot}$ , le champ total mesuré à la position de la cible et  $\mathbf{E}_0$ , le champ en espace libre. Cette méthode suppose que la propagation du champ s'effectue dans des conditions dites de « champ lointain ». Ainsi, pour une cible représentée par un diffuseur ponctuel, la variation de sa SER est directement proportionnelle à la variation du facteur de propagation.

#### 2.b. Influence du milieu sur la SER

En détection radar, les paramètres du milieu de propagation ont un impact important sur la SER. Dans le milieu marin, deux paramètres ont un effet significatif sur la SER : les rugosités de surface et les conduits d'évaporation.

Modélisant l'impact des vagues sur la diffusion du champ électromagnétique par la mer, les rugosités de surface vont atténuer la SER proportionnellement à l'état de mer (Figure 1). Notons que, pour des états de mer inférieurs à 3, considérer la mer comme lisse constitue généralement une bonne approximation.



**Figure 1. Impact des rugosités sur le facteur de propagation à une altitude de 10 m et à la fréquence de 10 GHz.**

D'un comportement similaire à celui d'un guide d'onde placé à la surface de la mer, le conduit d'évaporation influe sur la SER en fonction des paramètres atmosphériques tels que la pression, la température et le taux d'humidité (Figure 2). Une autre conséquence significative est l'allongement de la portée de détection au-delà de l'horizon standard.

Il est donc important de considérer ces deux paramètres conjointement dans les calculs de SER car, selon le cas, leurs effets se combinent ou s'opposent.

### 3. Estimation SER pour une cible étendue

#### 3.a. Théorie des points brillants

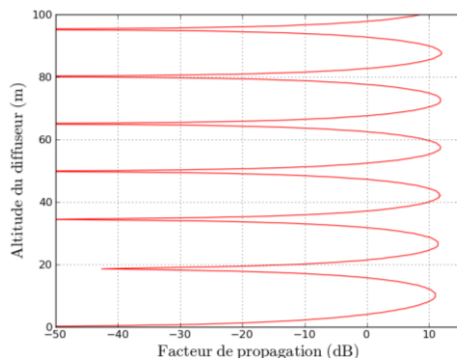
En général, les cibles telles que les navires, avions ou véhicules sont modélisées par un amas de points brillants dont le comportement électromagnétique est plus réaliste qu'un unique diffuseur. Avec ce type de représentation, une cible de grande taille est constituée de douzaines de diffuseurs de forte SER et de centaines d'autres de moindres importances (Figure 4). Leurs positions vont alors déterminer la valeur du facteur de propagation à y affecter (2), valeur rarement identique d'un diffuseur à l'autre (Figure 1 à 3). Le caractère volumique et distribué d'une cible devient donc un paramètre à considérer.

#### 3.b. Impact des dimensions de la cible sur la SER.

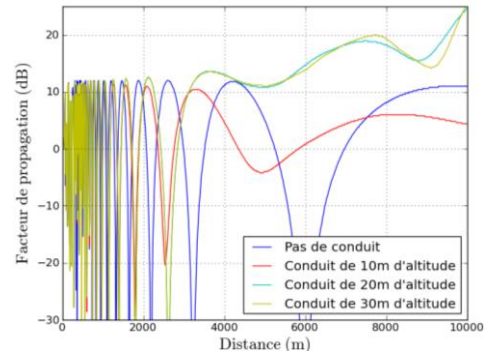
Le champ lointain est considéré, habituellement, à partir de :

$$d \geq 2 \cdot D^2 / \lambda \quad (4)$$

où  $D$  est la plus grande dimension de la cible et  $\lambda$ , la longueur d'onde.



**Figure 3. Impact de l'altitude sur le facteur de propagation à une distance de 10 km et à la fréquence de 10 GHz.**



**Figure 2. Impact des conduits d'évaporation sur le facteur de propagation à une altitude de 10 m et à la fréquence de 10 GHz.**

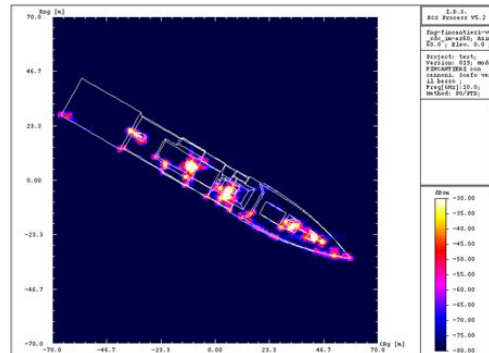
Or, de la même manière que pour une antenne, les dimensions d'une cible influent sur la propagation de l'onde diffusée. En considérant (4), un important accroissement de la limite entre le champ proche et le champ lointain est observé lorsque la taille de la cible et la fréquence augmentent. Par exemple, dans le cas d'un radar côtier détectant une cible de 40 m de long à la fréquence de 1 GHz, la distance radar-cible  $R$  doit être supérieure à 10 km pour respecter la condition donnée en (4). L'hypothèse « champ lointain » n'est donc plus valide pour le champ rétrodiffusé qui doit alors être estimé à l'aide d'une technique de champ proche. Pour effectuer une telle estimation, notre choix s'est porté sur l'utilisation des fonctions de Green dyadiques qui présentent de nombreux avantages comme :

- L'intégration du milieu de propagation, de la propagation en champ proche et en champ lointain dans leur formulation, du fait qu'elles soient des méthodes exactes.
- Le traitement de cibles aussi bien ponctuelles qu'étendues et distribuées.

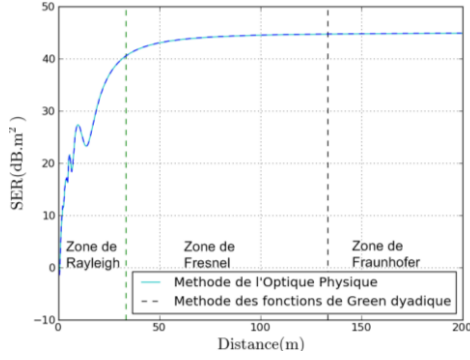
En utilisant le formalisme de Green, le champ rétrodiffusé est alors estimé par [3] :

$$\mathbf{E}_s(P) = j\omega\mu_0 \iiint_V \bar{\Gamma}(M, P) \mathbf{J}_s(M) dV(M) \quad (5)$$

où  $\omega = 2\pi f$  est la pulsation du champ,  $\mu_0$ , la perméabilité du vide,  $\mathbf{J}_s$ , la densité de courant sur la source,  $M$ , un point de la source,  $P$ , la position du récepteur, et  $\bar{\Gamma}$ , la dyade de Green représentant la fonction de transfert du milieu [4].



**Figure 4. Représentation ISAR d'un navire illustrant le phénomène de points brillants.**



**Figure 5. SER monostatique en espace libre pour une plaque de 1×1 m en incidence normale, à la fréquence de 15 GHz.**

Dans ce cadre, la formulation de la SER en champ proche est donnée par [5] :

$$\sigma_{app\_cp} \approx 4\pi.R^4.Z \cdot \frac{|E_s \times H_s^*|}{|V_i|^2} \quad (6)$$

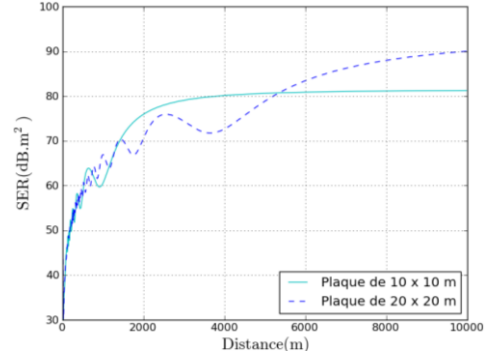
où  $V_i$  est l'amplitude du champ émis,  $Z$ , l'impédance du milieu, et  $H_s^*$ , le conjugué du champ magnétique rétrodiffusé. La SER d'une cible étendue est alors obtenue en introduisant l'équation (5) dans (6).

#### 4. Résultats de simulation

Pour valider cette méthode d'estimation de la SER, les conditions de simulations ont d'abord été choisies afin de correspondre à des résultats existants, obtenus par la méthode de l'Optique Physique [5]. La SER d'une plaque métallique de dimensions 1×1 m en espace libre a donc été calculée à la fréquence de 15 GHz par la méthode de la dyade de Green. La comparaison des résultats fournis par les deux méthodes (Figure 5) montre un écart d'amplitude inférieur à 0,1 dB et la présence d'une propagation en champ-proche pour des distances inférieures à 40 m. Afin de quantifier l'impact du champ proche sur la SER de cibles étendues, des simulations supplémentaires ont été menées sur des plaques de dimensions 10×10 m et 20×20 m, à la fréquence de 10 GHz. Comme le montre la Figure 6, la SER de la plus petite des plaques atteint sa valeur en champ lointain aux alentours de 5 km, tandis que pour la plaque de plus grande taille, la SER observée se situe encore dans la zone de Rayleigh à la distance de 10 km.

Ces résultats ayant montré l'impact des dimensions d'une cible étendue sur sa SER en espace libre, un cas plus réaliste va donc être étudié en prenant en compte la réflexion du champ électromagnétique sur la mer.

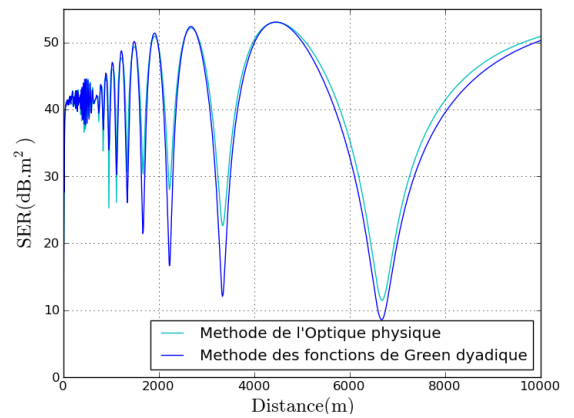
Afin de valider la méthode d'estimation de la SER présentée dans cet article, une comparaison à la méthode de l'optique physique est réalisée sur une plaque de dimensions 1×1 m centrée à 10 m d'altitude au-dessus d'une mer lisse à la fréquence de 10 GHz (Figure 7). On observe alors une bonne correspondance entre les résultats fournis par les deux méthodes.



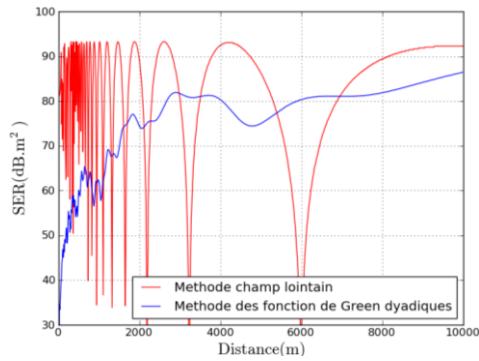
**Figure 6. SER monostatique en espace libre pour deux plaques en incidence normale, à la fréquence de 10 GHz.**

Dans le but de quantifier l'impact des dimensions d'une cible étendue sur sa SER en milieu marin, les calculs ont été menés, à la fréquence de 10 GHz, sur des plaques de 10×10 m et de 20×20 m centrées à 10 m d'altitude, puis comparés aux résultats théoriques calculés à partir de (1) et (2) (Figures 8 et 9). Un écart important, généralement supérieur à  $\pm 6$  dB, est alors observé entre la méthode des dyades de Green et la méthode asymptotique assimilant la cible à un diffuseur ponctuel. Ces observations confirment donc que, dans la majorité des applications radar en milieu marin, le champ proche doit être pris en compte dans les calculs de SER.

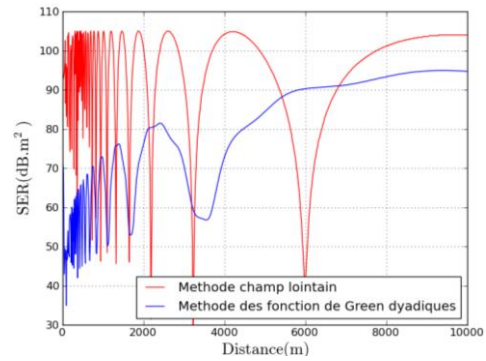
Finalement, la SER de la plaque de 20×20 m centrée à 10 m d'altitude, à la fréquence de 10 GHz est tracée pour différents états de mer afin de quantifier l'impact des rugosités de surface (Figure 10). Comme annoncé précédemment, une diminution de la fluctuation de la SER est observée lorsque l'état de mer augmente. Ces fluctuations étant principalement dues au champ diffusé par la mer, on retrouve donc, pour d'importants états de mer, la courbe de SER en espace libre (Figure 6). Toutefois, il faut considérer ces résultats avec du recul, spécialement pour d'importantes hauteurs de rugosités. En effet, dans cet article, les rugosités sont modélisées par le modèle de Miller et Brown [6] simple à intégrer mais ne tenant pas compte des phénomènes de masquage de la cible par les vagues.



**Figure 7. SER monostatique d'une plaque de 1×1 m en incidence normale centrée à 10 m au dessus d'une mer lisse, à la fréquence de 10 GHz.**



**Figure 8. SER monostatique d'une plaque de  $10 \times 10$  m en incidence normale centrée à 10 m au-dessus d'une mer lisse, à la fréquence de 10 GHz.**

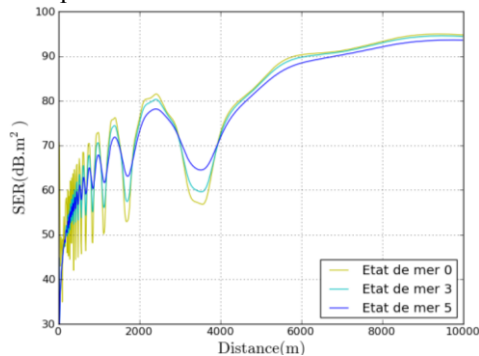


**Figure 9. SER monostatique d'une plaque de  $20 \times 20$  m en incidence normale centrée à 10 m au-dessus d'une mer lisse, à la fréquence de 10 GHz.**

## 5. Conclusion

Dans cet article, une méthode d'estimation de la SER de cibles étendues a été présentée puis validée sur des cibles canoniques. Ainsi, nous avons montré que la SER d'objets de grandes dimensions en milieu marin, doit être estimée par une méthode intégrant le calcul du champ proche dans l'estimation du champ rétrodiffusé. Cependant, en dépit de l'apport possible en précision d'une telle méthode sur la prédiction SER de grandes cibles, les effets troposphériques n'ont, pour l'instant, pas été intégrés à la méthode des dyades de Green. Or, il a été montré dans cet article l'impact important des conduits d'évaporation sur le facteur de propagation et par conséquent, sur la SER.

Les travaux futurs auront donc pour objectif d'intégrer les phénomènes atmosphériques dans la méthode d'estimation de SER basée sur les fonctions de Green dyadiques afin d'en améliorer le réalisme. Les résultats seront ensuite confrontés à des mesures en milieu réel pour valider cette méthode.



**Figure 10. SER monostatique d'une plaque de  $20 \times 20$  m en incidence normale centrée à 10 m au-dessus d'une mer rugueuse, à la fréquence de 10 GHz, pour différents états de mer.**

## 6. Références bibliographiques

- [1] E. F. Knott et al., "Radar Cross Section", 1st ed., Artech House, 1985.
- [2] J. Claverie, Y. Hurtaud, "Variation of the apparent RCS of maritime targets due to ducting effects", IEEE Millenium Conference on Antennas and propagation, Davos, Switzerland, April 2000.
- [3] C.T. Tai, "Dyadic Green's function in Electromagnetic Theory", 2<sup>nd</sup> ed., IEEE Press, 1993.
- [4] L. Petit, "Modélisation de l'interaction d'une onde électromagnétique avec un objet - Application à l'observation d'une forêt dans le domaine des fréquences VHF", thèse de Doctorat, Université de Paris VI, Octobre 1999.
- [5] P. Pouliguenet al., "Analytical formulae for Radar Cross Section of flat plates in near field and normal incidence," Progress In Electromagnetics Research B, vol. 9, pp. 263–279, 2008.
- [6] A.R. Miller et al., "New derivation for the rough-surface reflection coefficient and for the distribution of sea-wave elevations", IEEE Proc., Vol. 131, No. 2, April 1984.